

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN CIENCIAS VETERINARIAS



**PRIMERA EVIDENCIA DEL USO DEL HEMOGRAMA COMO
HERRAMIENTA DE DIAGNÓSTICO EN BOVINOS DE ENGORDA A LA
RECEPCIÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO**

**TESIS
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS VETERINARIAS**

**PRESENTA
MARINA MORENO MOLINA**

**DIRECTOR DE TESIS
M.C. ALFONSO DE LA MORA VALLE**

MEXICALI, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2020

PRIMERA EVIDENCIA DEL USO DEL HEMOGRAMA COMO HERRAMIENTA DIAGNÓSTICA EN BOVINOS DE ENGORDA A LA RECEPCIÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO. Tesis presentada por la C. Marina Moreno Molina como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Veterinarias ha sido aprobada por el comité particular indicado:

M.C. Alfonso De La Mora Valle
Director de tesis

Dr. Gilberto López Valencia
Co-director de tesis

M.en MVZ. Issa Carolina García Reynoso
Asesora

Dr. Francisco Javier Monge Navarro
Asesor

Dr. Enrique Trasviña Muñoz
Asesor

Mexicali, Baja California, México.

Diciembre, 2020

AGRADECIMIENTOS

Primero que nada, quisiera agradecer el apoyo económico concedido por parte del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por otorgarme la beca nacional y beca de movilidad al extranjero.

A mi alma máter la Universidad Autónoma de Baja California y el Instituto de Investigaciones en Ciencias Veterinarias, en especial la Coordinación de Posgrado, por formarme como profesional, como ser humano con integridad, valores y ética profesional, y por siempre estar para sus estudiantes.

A los académicos que me asesoraron durante mi investigación, a mi tutor M.C. Alfonso De La Mora por haberme invitado al programa y ser mi guía antes y durante la Maestría en Ciencias. Al Dr. Gilberto López y al Dr. Francisco Monge por tomarse el tiempo de enseñarme y formarme como estudiante de posgrado. Al Dr. José Ortiz por darme la oportunidad de realizar mi movilidad al extranjero y por ser quien viera por mí durante mi estancia.

A mis compañeros de posgrado, por su gran ayuda durante mi proyecto y entre clases, en especial gracias M.V.Z. Karla Rodríguez por ser mi compañera y amiga durante varios años, por compartir experiencias y conocimientos en esta área.

Finalmente, a mi familia y a mi esposo Giovanni por siempre confiar en mí y apoyarme en cada paso de esta maravillosa experiencia, sin su apoyo incondicional no hubiera sido posible esto.

RESUMEN

Aproximadamente 340,000 bovinos son transportados e introducidos anualmente al Valle de Mexicali siendo el cuarto lugar más importante del país en producción de carne de bovino con aproximadamente 95, 840 toneladas de carne en canal en 2018. Los bovinos son transportados desde el centro-sur del país.

En México, el uso de la hematología de rutina para el escrutinio o diagnóstico presuntivo de enfermedades no ha sido reportada en la literatura. Específicamente, el hemograma junto con el diferencial leucocitario brinda una poderosa herramienta rápida en la práctica clínica. Actualmente, no existe evidencia de registros de esta información en la región Noroeste de México, en cuanto a valores obtenidos, valores de referencia manejados y el escrutinio.

La sangre está compuesta por tres tipos celulares: eritrocitos, leucocitos y plaquetas que circulan dentro en plasma. Dentro de la línea roja, se pueden medir las siguientes variables: eritrocitos (RBC), hematocrito (HCT), hemoglobina (HGB), volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH), concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC), amplitud de distribución eritrocitaria (RDW) y plaquetas. En la línea blanca podemos medir las siguientes variables: leucocitos (LEU), linfocitos (LINF), neutrófilos (NEU), neutrófilos banda (NEU B), eosinófilos (EOS), basófilos (BAS) y monocitos (MONO).

De los 240 bovinos incluidos en este trabajo, 155 provenían de Chihuahua, 53 de Jalisco y 32 de Sonora. El hallazgo de mayor relevancia fue que 141 animales del estado de Chihuahua (58.7%), 46 de Jalisco (19.1%) y 29 de Sonora (12.08%); presentaron eritrocitosis relativa por hemoconcentración (deshidratación). El presente trabajo proporciona nuevos datos que sentarán una base para futuros proyectos en cuánto al diagnóstico en bovinos de engorda esta región del Noroeste de México.

Palabras clave: bovinos, hemograma, diferencial leucocitario, engorda, diagnóstico, herramienta.

ABSTRACT

Approximately 340,000 cattle are transported and introduced annually to the Mexicali Valley, being the fourth most important place in the country in production of beef with approximately 95,840 tons of carcass in 2018. Bovines are transported from the South-Central part of the country.

In Mexico, the use of routine hematology for the screening or presumptive diagnosis of diseases has not been reported in the literature. Specifically, the complete blood cell count (CBC) in conjunction with the white blood cell count (WBC) differential provides a powerful rapid tool in clinical practice. Currently, there is no evidence of records of this information in the Northwest region of Mexico, in terms of values obtained, reference values managed and monitoring.

Blood is made up of three cell types: erythrocytes, leukocytes, and platelets that circulate within plasma. Within the red cell line, the following variables can be measured: erythrocytes (RBC), hematocrit (HCT), hemoglobin (HGB), mean corpuscular volume (MCV), mean corpuscular hemoglobin (MCH), mean corpuscular hemoglobin concentration (MCHC), red cell distribution width (RDW) and platelets. In the white cell line, we can measure the following variables: leukocytes (WBC), lymphocytes (LYMPH), neutrophils

(NEU), band neutrophils (NEU B), eosinophils (EOS), basophils (BAS) and monocytes (MONO).

Of the 240 cattle included in this study, 155 came from Chihuahua, 53 from Jalisco and 32 from Sonora. The most relevant finding was that 141 animals from the state of Chihuahua (58.7%), 46 from Jalisco (19.1%) and 29 from Sonora (12.08%); presented relative erythrocytosis due to hemoconcentration (dehydration). The present work provides new data that will establish a basis for future projects regarding the diagnosis of fattening cattle in this region of Northwest Mexico.

Keywords: cattle, complete blood cell count, leukocyte differential, feedlot, diagnosis, tool.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	1
REVISIÓN DE LITERATURA	3
Antecedentes.....	3
Composición de la sangre.....	4
Colección de sangre, manejo y almacenamiento.....	5
Hematopoyesis.....	9
Eritropoyesis	10
<i>Eritrocitos</i>	12
Linfopoyesis	13
<i>Linfocitos</i>	14
Granulopoyesis y monocitopoyesis	18
<i>Neutrófilos</i>	20
<i>Monocitos</i>	22
<i>Eosinófilos</i>	24
<i>Basófilos</i>	25
Trombopoyesis	27
<i>Plaquetas</i>	28
Hemograma.....	30
<i>Frotis sanguíneo / diferencial leucocitario</i>	32
MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
<i>Localización del área de estudio</i>	33
<i>Criterios de inclusión</i>	34
<i>Recolección de muestras</i>	34
<i>Manejo de los animales al arribo</i>	36
<i>Base de datos</i>	37
<i>Análisis estadístico</i>	37

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
Población muestreada.....	37
Interpretación	38
CONCLUSIONES	45
LITERATURA CITADA	52

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Valores de referencia de cuatro fuentes bibliográficas.....	40
Cuadro 2. Organización de los viajes procesados para el proyecto (21 de febrero al 31 de mayo 2019).....	41
Cuadro 3. Resultados de hemogramas y diferenciales leucocitarios.....	42
Cuadro 4. Frecuencias de animales con y sin eritrocitosis, con su respectiva procedencia.....	43

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Microfotografía de un linfocito (flecha) y un neutrófilo segmentado, evidenciando el diámetro que comparten en común.....	15
Figura 2. Microfotografía de un linfocito reactivo.....	16
Figura 3. Microfotografía de un linfocito granular.....	16
Figura 4 y 5. Microfotografía de un neutrófilo en banda (inmaduro) y dos neutrófilos segmentados (maduros).....	20
Figura 6. Microfotografía de un monocito.....	23
Figura 7. Microfotografía de un eosinófilo (flecha) y un linfocito.....	24
Figura 8. Microfotografía de un basófilo (flecha) y un eosinófilo.....	26
Figura 9. Microfotografía donde se observan grupos de plaquetas.....	29

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente un total de 340,000 bovinos de engorda son introducidos al estado de Baja California provenientes de 23 diferentes estados de México (Jalisco, Guerrero, Chihuahua, Sonora, entre otros). Los corrales de engorda del Valle de Mexicali son el destino final de cerca del 95% del ganado introducido a Baja California (Rodríguez *et al.*, 2017).

El uso de la hematología como herramienta de diagnóstico para enfermedades infecciosas ha sido poco reportada en los sistemas de explotación de bovinos de engorda en México. El hemograma junto con el conteo diferencial leucocitario son análisis hematológicos de rutina que pueden ser realizados en la práctica clínica para llevar un manejo adecuado del ganado.

El escrutinio que se realiza de manera rutinaria en los corrales de engorda consiste principalmente en la detección temprana de problemas de salud de manera individual y la evaluación rápida para dar tratamiento médico. Esto nos permite que se tomen decisiones a tiempo con respecto a la intervención

El escrutinio consiste principalmente en la detección temprana de problemas de salud en bovinos de manera individual y la evaluación rápida

para dar tratamiento médico. La ventaja de realizar el escrutinio es que permite que las decisiones sean tomadas a tiempo con respecto a la intervención y tratamiento ayudando a evitar la deterioración, a reducir costos por tratamientos, reducir el impacto que pudiera tener en la producción de carne y sobretodo, la mortalidad (Allflex, 2020).

Actualmente, la utilización del hemograma es sumamente escasa y no se cuenta con registros de los hemogramas que se practican en la región Noroeste de México, en cuanto a valores obtenidos, valores de referencia manejados y el escrutinio. Por lo tanto, es importante obtener los valores del hemograma actuales a la recepción de los bovinos ingresados y sentar una base a partir de los resultados obtenidos específicamente en esta área geográfica de la región dándonos un panorama general del estado clínico en que se está ingresando el ganado en los corrales de recepción.

REVISIÓN DE LITERATURA

Antecedentes

En el estado de Baja California, el censo ganadero del año 2019 reportó de un total de 235,834 cabezas de ganado bovino para engorda (SIAP, 2020), de las cuales se produjeron alrededor de 102,958 toneladas de carne en canal, generando una derrama económica de 6,508 millones de pesos para el sector ganadero de la región (SIAP, 2019; SADER, 2020). La representación estatal de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) reportó que la carne de bovino representó el producto con el mayor valor bruto de la producción pecuaria, ya que aporta el 78.23% del total producido en el subsector ganadero de Baja California (SADER, 2019; 2020).

El Valle de Mexicali es el mayor productor de carne de bovino del estado y es el cuarto lugar más importante del país. En el 2018, obtuvo una producción de 95,840 toneladas de carne de bovino en canal, esta producción representó una derrama económica de \$5,900 millones de pesos en valor bruto de campo. La ganadería en el Valle de Mexicali es de suma importancia, ya que participa con el 28.2% del PIB agropecuario estatal, el 38.9% del PIB municipal y el 78% del total de la producción pecuaria del Estado (SADER, 2019).

Además, el estatus zoonosanitario que existe entre Baja California y el estado de California (EE.UU.), permitió en el 2018 que ingresaran más de 340,000 cabezas de ganado para engorda, finalización y sacrificio a Baja California (SADER, 2019).

Los bovinos de engorda que son comprados y transportados en camiones al estado de Baja California, provienen de 23 diferentes estados de México. El estado de Baja California, especialmente el Valle de Mexicali, es el destino final de cerca del 95% del ganado introducido (Rodríguez *et al.*, 2017).

Composición de la sangre

La sangre es un tejido conectivo fluido altamente especializado, que está compuesto por tres tipos celulares: eritrocitos, leucocitos y plaquetas que circulan dentro de fluido llamado plasma. Los eritrocitos son las células más numerosas con varios millones de eritrocitos por microlitro de sangre en mamíferos. Dependiendo de la especie, los eritrocitos corresponden típicamente de un cuarto a un medio del volumen sanguíneo total medido determinado por el hematocrito (Harvey, 2012; Aspinall y Cappello, 2020).

Las plaquetas o trombocitos son el segundo tipo de célula más abundante en la sangre, con conteos plaquetarios de hasta varios cientos de miles por microlitro (μL) en diferentes especies de mamíferos. Los leucocitos o

células blancas sanguíneas están presentes en menor cantidad que los eritrocitos o las plaquetas, con conteos que van desde $5 \times 10^3 / \mu\text{L}$ a alrededor de $20 \times 10^3 / \mu\text{L}$, siendo los neutrófilos el tipo de leucocito más numeroso en la sangre de rumiantes y roedores.

El plasma está compuesto principalmente de agua que contiene cerca de 6 a 8 gramos por decilitro (g/dL) de proteínas plasmáticas y de 1.5 a 2.0 g/dL de sales inorgánicas, lípidos, carbohidratos, hormonas y vitaminas. El suero es la porción acuosa de la sangre que se obtiene al ser separada por medio de centrifugación en un tubo sin anticoagulante (Harvey, 2012).

El total del volumen sanguíneo en bovinos corresponde al 7% del peso corporal, en animales jóvenes que se encuentran en crecimiento a menudo excede el 10% del peso corporal y en general tiene un pH de 7.4 (7.35 – 7.45) (Harvey, 2012; Aspinall y Cappello, 2020).

Colección de sangre, manejo y almacenamiento

Independientemente de la técnica de laboratorio utilizada es importante que la colección y manejo de las muestras sean realizadas correctamente, para obtener resultados confiables (Weiser, 2012). Un manejo incorrecto podría resultar en cambios celulares *in vitro* significativos los cuales pueden ser malinterpretados (Jones y Allison, 2007).

La colección de la muestra, el procesamiento, las pruebas y su interpretación deben ser debidamente realizadas como una cadena completa de eventos secuenciales que nos darán un resultado diagnóstico para obtener su valor pretendido (Weiser, 2012). El anticoagulante de elección es el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ya que es ideal para la determinación del conteo total de células sanguíneas para la mayoría de las especies (Harvey, 2012).

En el caso de los rumiantes, las venas de elección para la colección de sangre periférica son las venas yugular externa y coccígea. Los animales idealmente deben de estar calmados y propiamente restringidos al momento de la colección de sangre, ya que, si el animal está estresado y la colección de sangre no se realiza adecuadamente, puede resultar en la liberación de esteroides endógenos o epinefrina y dar como resultado alteraciones en los valores obtenidos. En bovinos, el calibre de la aguja utilizada para colectar sangre es de 18 a 20 G con colección en una jeringa o directamente en un tubo al vacío (Jones y Allison, 2007).

Las muestras de sangre deben ser vertidas mediante una jeringa a un tubo de vacío controlando el émbolo de la jeringa para que permita una lenta adición al tubo. Si la sangre se agrega de manera rápida hacia el tubo, es muy probable que resulte en hemólisis afectando las determinaciones de conteos de

las células rojas sanguíneas. Este método reduce la formación de agregados plaquetarios, leucocitarios y de coágulos (Harvey, 2012).

Sin embargo, la agregación celular tiende a ser más pronunciada a lo largo que la sangre se va enfriando y se almacena, por lo cual el procesamiento de las muestras de sangre necesita ser realizado lo más pronto posible posterior a su colección para minimizar la formación de dichos agregados. Cabe mencionar, que aun obteniendo correctamente una muestra de sangre con anticoagulante EDTA, no elimina la posibilidad de que puedan formarse agregados plaquetarios y leucocitarios (Jones y Allison, 2007; Harvey, 2012).

Además de la correcta colección y manejo de las muestras de sangre, es importante que el tubo de EDTA sea llenado a un volumen específico (hasta que llene el vacío del tubo) y debe evitarse la contaminación por tejido durante la venopunción. Esto más que nada, es para lograr un equilibrio apropiado entre el aditivo y la muestra. En el caso de obtener menos volumen de muestra y exceso de anticoagulante puede resultar en la dilución y osmóticamente en el encogimiento de los eritrocitos. En respuesta, esto afecta directamente ciertas mediciones como el volumen del paquete celular (VPC) y el volumen corpuscular medio (VCM) calculado al realizar el hematocrito (Jones y Allison, 2007; Weiser, 2012).

La contaminación con tejido que se obtiene durante la venopunción resulta en agregación plaquetaria y disminuye la concentración de plaquetas determinado por los sistemas de conteo celular y puede contribuir a la obstrucción de fluidos en instrumentos de hematología.

Para lograr una correcta homogeneización de la muestra de sangre con el anticoagulante EDTA, es importante invertir el tubo varias veces con delicadeza. La sangre colectada debe ser analizada dentro de una hora o ser preparada de la manera correcta para su análisis posterior. Para realizar el conteo manual y la evaluación morfológica de las células sanguíneas, es importante realizar el frotis sanguíneo, el cual debe ser secado al aire sin teñir dentro de los primeros 15 minutos de su colección. Si la sangre no es analizada dentro de una hora, se hace el frotis sanguíneo y el tubo se refrigera a 4° C (Jones y Allison, 2007; Weiser, 2012).

Las muestras sanguíneas refrigeradas pueden otorgar conteos de células sanguíneas completos hasta 24 horas después de su colección. En caso de que las muestras requieran ser remitidas a un laboratorio externo para su análisis, deben ser empacadas en material apropiado para envío de muestras biológicas y protegerlas de cualquier incidente y sobretodo, deben ir con gel refrigerante o hielo (Jones y Allison, 2007).

Hematopoyesis

En mamíferos, los eritrocitos son producidos continuamente al inicio de la gestación media y a lo largo de su vida post natal a partir de las células madre hematopoyéticas dentro del espacio extravascular de la médula ósea. Las células hematopoyéticas inmaduras se dividen en tres etapas: las células madre, las células progenitoras y las células precursoras. Las células madre hematopoyéticas se consideran que han perdido su potencial para la diferenciación mesenquimal. Éstas se caracterizan porque tienen la capacidad de proliferar, renovarse y diferenciarse a sí mismas y de repoblar la médula ósea después de ser obliterada, se replican sólo una vez cada 8 a 10 semanas (Car, 2010; Harvey, 2012b; Boes y Durham, 2017).

Las células progenitoras y precursoras no tienen la capacidad de renovarse a sí mismas, ya que con cada división celular, evolucionan en células más diferenciadas. Los precursores de las últimas etapas son incapaces de dividirse. Cabe mencionar que las células madre hematopoyéticas y las células progenitoras requieren de tinciones inmunohistoquímicas para ser identificadas morfológicamente, a diferencia de las células precursoras, las cuales pueden ser distinguidas con tinciones convencionales (ej. Diff-Quik) por sus características morfológicas típicas (Harvey, 2012b; Boes y Durham, 2017).

Eritropoyesis

La eritropoyesis se refiere a la producción de eritrocitos, los cuales tienen como función primaria el intercambio de gases oxígeno y dióxido de carbono. Durante la maduración, los precursores eritroides sintetizan una gran cantidad de una metaloproteína, llamada hemoglobina, que facilita el transporte de oxígeno. El principal regulador de la eritropoyesis es una glucoproteína llamada eritropoyetina. Otros estimuladores directos e indirectos de la eritropoyesis son las interleucinas (IL-3, IL-4 e IL-9), el factor estimulante de colonias granulocito-monocitos y el factor estimulante de colonia de granulocitos, además de la hormona del crecimiento, y el factor de crecimiento similar a la insulina, testosterona y hormona tiroidea (Boes y Durham, 2017b).

La eritropoyetina es sintetizada principalmente en el riñón y ejerce sus efectos promoviendo la proliferación e inhibiendo la apoptosis de las células eritroides en desarrollo. El estímulo para el incremento en la producción de la eritropoyetina es la hipoxia (Boes y Durham, 2017b).

La eritropoyesis ocurre de forma ordenada y piramidal. Dentro de la médula ósea, los precursores eritroides rodean al macrófago central en islas eritroblásticas. El macrófago central, ancla los precursores dentro del nicho de la isla, regula la proliferación y diferenciación eritroide, transfiere el hierro a los

progenitores eritroides para la síntesis de hemoglobina y fagocita el núcleo del metarubricito extruido.

El precursor más prematuro es el proeritroblasto, después se convierte en rubriblasto y luego en prorubricito, el cual también es la célula menos abundante y se somete a división de maduración para producir de 8 a 32 células de progenie. Los precursores eritroides de etapas tardías, conocidos como los metarubricitos, extruden su núcleo y se convierten en reticulocitos que subsecuentemente maduran a eritrocitos. Normalmente, el tiempo de tránsito de rubriblasto al eritrocito maduro es de aproximadamente 1 semana (Boes y Durham, 2017b; eClinpath, 2020).

Los reticulocitos comienzan a madurar en la médula ósea, pero terminan su maduración en la circulación sanguínea y en el bazo. A diferencia de los eritrocitos maduros, los reticulocitos aún contienen ribosomas y mitocondrias, principalmente para apoyar la finalización de la síntesis de hemoglobina (Boes y Durham, 2017b).

Microscópicamente, a la evaluación del frotis de médula ósea, las células tienen núcleo redondo, cromatina fina, nucléolo (en rubriblastos) y citoplasma azul oscuro. Mientras se van diferenciando a progenitores eritroides, se hacen más pequeños, su núcleo se encuentra picnótico (rubricito basofílico) y adquieren hemoglobina (rubricito policromático) (eClinpath, 2020).

El núcleo que está completamente picnótico (metarubricito policromatófilico) es eventualmente expulsado, formando el policromatófilo. Éste madura en la médula ósea o en circulación para convertirse en macrocito o eritrocito maduro, el cual sólo contiene hemoglobina y no tiene ácido ribonucleico (ARN). Con cada división, los eritrocitos diferenciados se hacen más abundantes para que más células maduras (policromatófilos y eritrocitos) dominen en médula ósea (eClinpath, 2020).

Eritrocitos

En la mayoría de los mamíferos, los eritrocitos maduros tienen forma de disco bicóncavo, los cuales se caracterizan morfológicamente por ser redondos y eosinofílicos con cierta palidez en el área central (notablemente en perros). El tamaño del eritrocito depende de la especie, raza y edad del animal (Boes y Durham, 2017b). Especies con eritrocitos pequeños como el gato, el caballo, el bovino, la oveja y la cabra, tienen menos concavidad, y, por lo tanto, pueden tener poca o nula palidez central (Thrall, 2012). Los eritrocitos de bovinos en específico tienen un diámetro promedio de 5 a 6 μm , el cual es pequeño en comparación con otras especies. De igual manera, en animales jóvenes es común que se encuentren eritrocitos más grandes debido a la persistencia de eritrocitos fetales (Roland *et al.*, 2014).

La vida media del eritrocito maduro en circulación varía entre especies y está relacionado con el peso corporal y la tasa metabólica, en bovinos tiene aproximadamente una esperanza de vida relativamente larga de 130 a 160 días. Ya una vez que cumplen su propósito, los eritrocitos son destruidos mediante hemólisis principalmente en el bazo y en menor grado en hígado y médula ósea (Roland *et al.*, 2014; Boes y Durham, 2017b).

Linfopoyesis

La linfopoyesis hace referencia a la producción de nuevos linfocitos, predominantemente linfocitos B y linfocitos T, además de células natural killer (NK). Los linfocitos B principalmente producen inmunoglobulinas, mejor conocidas como anticuerpos y son efectores clave en la inmunidad humoral. Las células plasmáticas son linfocitos B diferenciados que producen anticuerpos. Los linfocitos T se encargan de la regulación inmune y la inmunidad citotóxica. Los leucocitos pueden ser clasificados ya sea como granulocitos o agranulocitos dependiendo si sus gránulos en el citoplasma son visibles al examinarse bajo el microscopio al momento de teñirse (Jones y Allison, 2007; Boes y Durham, 2017c; Aspinall y Capello, 2020b).

Los linfocitos son derivados de las células madre hematopoyéticas dentro de la médula ósea. El desarrollo de los linfocitos B ocurre en dos fases, la primera siendo la fase independiente a antígeno en la médula ósea y en las

placas de Peyer (sitio de desarrollo de linfocitos B en rumiantes), luego en la fase dependiente de antígeno en los tejidos linfoides periféricos [bazo, linfonodos y tejido asociado a mucosas (MALT)]. Los progenitores de los linfocitos T migran de la médula ósea al timo donde se someten a procesos de diferenciación, selección y maduración antes de migrar al tejido linfoides periférico ya como células efectoras (Boes y Durham, 2017c).

Los linfocitos a diferencia de los granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos), viajan en los vasos sanguíneos y linfáticos y continuamente circulan entre éstos y entre los tejidos. Además, en contraste a las células hematopoyéticas no linfoides, las concentraciones en sangre de linfocitos en animales son principalmente dependientes de la producción linfocítica extramedular y cinética, y no por la linfopoyesis en la médula (Boes y Durham, 2017c).

Linfocitos

En mamíferos no rumiantes, los linfocitos corresponden al segundo leucocito en sangre más numeroso. Los bovinos normalmente tienen altos números de linfocitos en comparación a los neutrófilos en circulación. En la mayoría de las especies, la mayoría de los linfocitos en circulación son los linfocitos T y la concentración de linfocitos disminuye conforme el animal envejece (Boes y Durham, 2017c).

Es importante mencionar que los linfocitos en sangre representan un diverso tipo de subpoblaciones linfocitarias, pero estas subpoblaciones no pueden ser distinguidas por el frotis sanguíneo en técnicas de rutina utilizadas en los laboratorios clínicos veterinarias (Weiser, 2012b).

Los linfocitos T son efectores de la inmunidad mediada por células linfocitos T (inmunidad citotóxica) y la regulación inmune, ya que poseen receptores de linfocitos T que se unen a antígenos preparados por células presentadoras de antígeno. Los linfocitos T pueden ser posteriormente clasificados como células T inductoras (ayudante; CD4) y células T citotóxicas supresoras (CD8). Las células natural killer (NK) son un componente de la inmunidad innata ya que eliminan una variedad de células infectas o con características tumorales en la ausencia de previa exposición o unión. Los principales factores de crecimiento para los linfocitos B, linfocitos T y células NK son las interleucinas IL-4, IL-2 e IL-5, respectivamente (Jones y Allison, 2007; Weiser, 2012b; Boes y Durham, 2017c).

A la evaluación microscópica, los linfocitos poseen un núcleo redondo a oval con escasa cantidad de citoplasma claro casi incoloro. Los linfocitos que circulan normalmente tienen diámetros más pequeños que los neutrófilos. En rumiantes, los linfocitos pueden ser más irregulares en tamaño y tienen diámetro casi igual que los neutrófilos (Figura 1) (Weiser, 2012b).

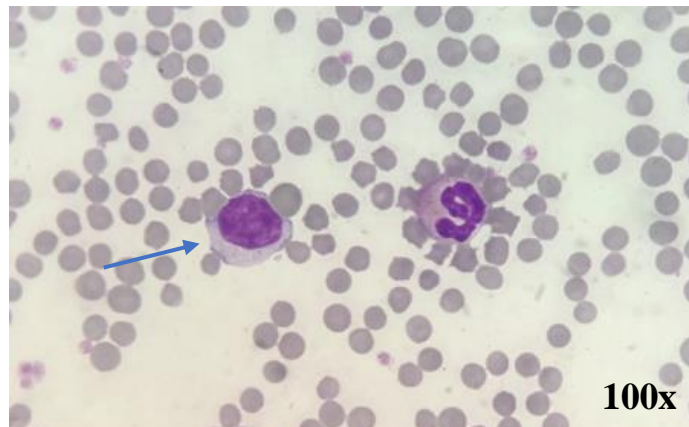


Figura 1. Microfotografía de un linfocito (flecha) y un neutrófilo segmentado, evidenciando el diámetro que comparten en común.

Así mismo, se pueden apreciar formas menos comunes de linfocitos, los cuales incluyen a los linfocitos reactivos y linfocitos granulares. Los linfocitos reactivos es probable que sean células B capaces de producir inmunoglobulinas y se caracterizan por presentar núcleos más irregulares y citoplasma intensamente basofílico. Los linfocitos reactivos grandes son observados normalmente en la mayoría de los animales jóvenes (Figura 2).

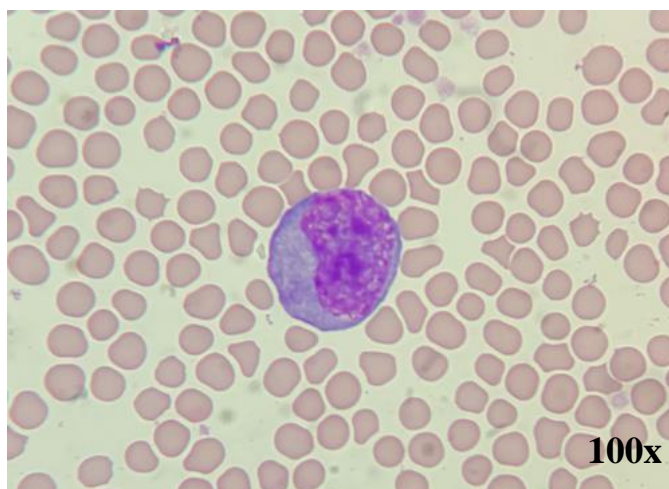


Figura 2. Microfotografía de un linfocito reactivo.

No es inusual observar linfocitos granulares, los cuales se caracterizan por presentar un pequeño número de gránulos citoplasmáticos azurófilos y se cree que puedan representar a las células NK o células T. Los linfocitos granulares grandes se observan comúnmente en sangre normal de rumiantes (figura 3) (Jones, 2007b; Weiser, 2012b).



Figura 3. Microfotografía de un linfocito granular.

A los 3 meses de edad, los becerros suelen tener pocos linfocitos. El porcentaje de linfocitos se incrementa arriba del 80% en la población de leucocitos total circulante. En el adulto, la concentración de linfocitos disminuye progresivamente, pero permanece como el tipo celular dominante. El ratio neutrófilo a linfocito en el ganado adulto es de aproximadamente 1:2, el cual es bajo comparado con otras especies domésticas (Jones y Allison, 2007; Roland *et al.*, 2014).

Granulopoyesis y monocitopoyesis

La granulopoyesis es la producción de neutrófilos, eosinófilos y basófilos. La monocitopoyesis es la producción de monocitos respectivamente. El propósito principal de los granulocitos y los monocitos es de migrar a los sitios de inflamación del tejido y funcionar en la defensa del hospedero. Las principales funciones que estas células llevan a cabo siendo funciones inmunológicas clave, incluyen la fagocitosis y actividad microbicida (neutrófilos y macrófagos derivados de monocitos), actividad parasítica y en la participación de reacciones alérgicas (eosinófilos y basófilos), procesamiento y presentación de antígenos y producción de citosinas (macrófagos) (Boen y Durham, 2017d).

Los neutrófilos son el tipo de leucocito predominante en sangre en la mayoría de las especies domésticas. Los neutrófilos participan en las respuestas inflamatorias por medio de quimio atrayentes hacia los sitios de inflamación de los tejidos y fagocitosis de organismo de otros materiales extraños (Weiser, 2012b).

Los principales estimuladores de la granulopoyesis y la monocitopoyesis son el factor estimulante de colonia granulocito-macrófago y las interleucinas IL-1, IL-3 e IL-6 (granulocitos y monocitos), el factor estimulante de colonia granulocitos (granulocitos) y el factor estimulante de colonia macrófago

(monocitos). En general, estas citosinas son producidas por varias células inflamatorias con o sin ayuda de las células estromales (Boes y Durham, 2017d).

El precursor más prematuro identificable por microscopía de luz de rutina es el mieloblasto, el cual se somete a una división de maduración de más de 5 días para producir de 16 a 32 células progenitoras. Estos precursores granulocíticos son conceptualmente divididos en mieloblastos, promielocitos y mielocitos (grupo de proliferación) y aquellos que no se puedan dividir, incluyendo los metamielocitos, y formas en banda o segmentadas (grupo de maduración). Dentro del pool de maduración de los neutrófilos hay un subgrupo llamado grupo de almacenamiento, el cual consiste en una reserva de neutrófilos completamente maduros (Weiser, 2012b).

El metamielocito neutrofílico no está presente en la sangre de manera normal. Se caracteriza por presentar un núcleo en forma de frijol, que conforme va madurando, cambia a una forma de herradura de caballo que es la característica del neutrófilo banda o inmaduro. El núcleo del neutrófilo banda tiene lados lisos paralelos y no tiene constricciones en la membrana nuclear (Weiser, 2012b).

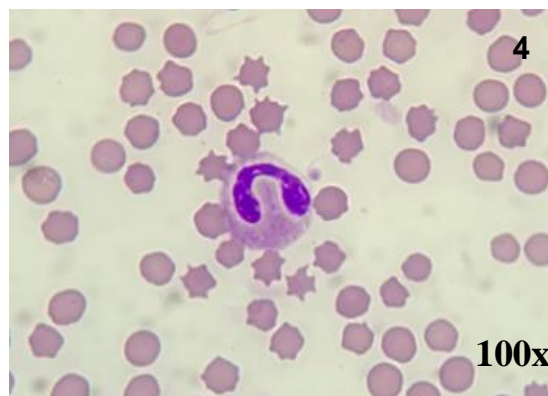
El neutrófilo banda (inmaduro) puede estar presente en sangre normal en bajas concentraciones. Los neutrófilos segmentados (maduros) tienen

núcleo con forma de herradura con grados variables de hendiduras y constricción a lo largo de su perímetro. Al mismo tiempo que el núcleo desarrolla las constricciones, se puede doblar en varias formas (Weiser, 2012b).

El tamaño del grupo de almacenamiento varia por especie; es más grande en el perro, pero es pequeño en rumiantes. Durante la homeostasis, la mayoría de los granulocitos segmentados maduros son liberados de la médula hacia la sangre (Weiser, 2012b).

Neutrófilos

Los neutrófilos poseen numerosos gránulos pequeños, pobremente teñidos. Estos pueden variar entre individuos, ya sea con gránulos sin color, gránulos invisibles a gránulos ligeramente teñidos. Los gránulos neutrofilicos de los bovinos a menudo se tiñen ligeramente rosados, dando la apariencia general del citoplasma con tinte ligero naranja-rosáceo (figuras 4 y 5) (Weiser, 2012b).



Figuras 4 y 5. Microfotografía de un neutrófilo en banda (inmaduro) y dos neutrófilos segmentados (maduros).

Dentro de los vasos sanguíneos existen dos grupos de leucocitos; el grupo circulante y el grupo marginal. Las células circulantes son libres fluyendo en la sangre, mientras que las células marginadas están temporalmente adheridas a las células endoteliales por selectinas. En la mayoría de los mamíferos sanos, existen típicamente números equitativos de neutrófilos en los pools circulantes y marginales. Sin embargo, en gatos puede haber hasta tres veces más en cantidad en el grupo marginal (Boes y Durham, 2017d).

La concentración de células mieloides en sangre depende de la tasa de producción y liberación de la médula ósea, las proporciones de células en los pools marginal y circulante, y la tasa de migración de la vasculatura hacia los tejidos (Weiser, 2012b).

No se conoce muy bien el destino de los neutrófilos después de dejar circulación sanguínea en condiciones normales. Se sabe que pueden migrar hacia los tractos digestivos o respiratorio, hígado y bazo y pueden ser perdidos a través de superficies mucosas o someterse a apoptosis y ser fagocitados por los macrófagos (Boes y Durham, 2017d).

Los neutrófilos participan en las respuestas inflamatorias por medio de quimioatrayentes migrando hacia los sitios de inflamación de los tejidos dentro de las primeras 2 horas de un insulto y en la fagocitosis de organismo de otros materiales extraños y bacterias (Jones y Allison, 2007; Weiser, 2012b).

Monocitos

El primer precursor monocítico identificable por características morfológicas es el monoblasto, el cual se desarrolla en promonocito y subsecuentemente en monocitos. A diferencia de los granulocitos, los monocitos no tienen un grupo de almacenamiento en médula; ellos inmediatamente entran a los sinusoides venosos para su maduración. Después de migrar hacia los tejidos, los monocitos se someten a maduración morfológica e inmunofenotípica hacia macrófagos (Boes y Durham, 2017d).

Los monocitos migran hacia los tejidos, donde continúan desarrollándose a macrófagos. Los números son variables en bovinos, pero no son un indicador sensible de procesos de enfermedad (Jones y Allison, 2007). Los fagocitos mononucleares (monocitos y linfocitos) pueden fagocitar bacterias, organismos complejos grandes (levaduras y protozoarios), células dañadas, restos celulares y restos extraños particulares (Weiser, 2012b).

Los monocitos en particular juegan un papel importante en la función inmunoreguladora presentando el antígeno procesado a los linfocitos T. Estas

células son responsables también de la destrucción normal de los eritrocitos, del reciclaje de hierro metabólico asociado y de la mayoría de la destrucción eritrocitaria patológica (Boes y Durham, 2017d).

Al examen citológico, los monocitos son la célula con mayor problema de identificación en los frotis sanguíneos, particularmente en el laboratorio clínico veterinario. Presenta diversas variaciones morfológicas tales como que el núcleo puede ser de casi cualquier forma, incluyendo oval, en forma de frijol, ameboideo o con forma de herradura y el patrón de la cromatina puede ser ligeramente menos condensado que el de los neutrófilos (Weiser, 2012b; Boes y Durham, 2017d).

Para su correcta identificación es necesario buscar las características claves distintivas, en cuanto a tamaño, estos tienden a ser más grandes en diámetro y de una coloración más grisácea del citoplasma comparado con los neutrófilos adyacentes. El citoplasma puede contener gránulos de morado claro extremadamente finos. A baja intensidad, los monocitos resaltan como células más grandes (Figura 6) (Weiser, 2012b).

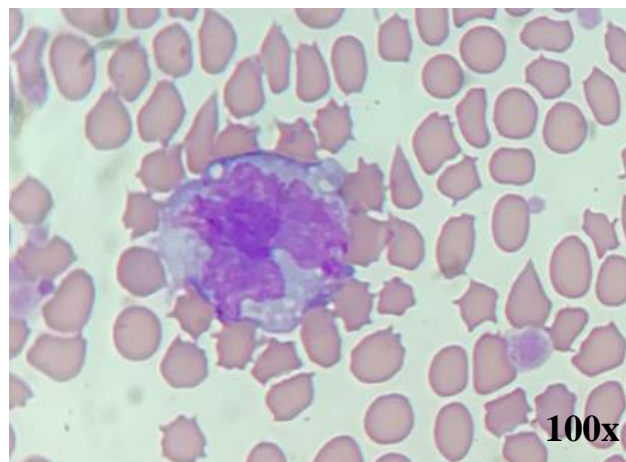
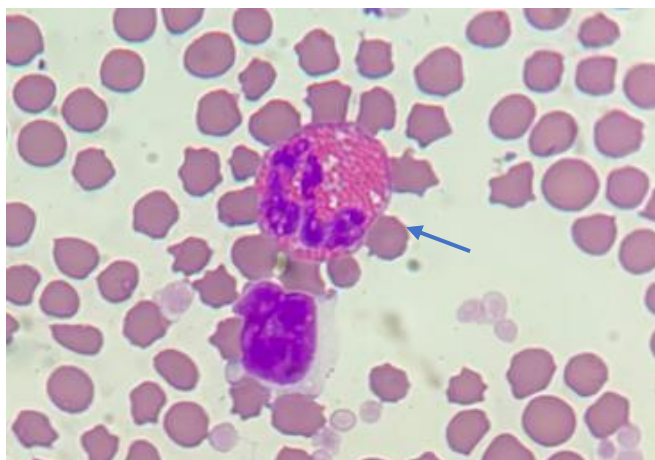


Figura 6. Microfotografía de un monocito.

Eosinófilos

Las funciones de los eosinófilos aún no están comprendidas del todo. Sin embargo, se sabe que poseen proteínas que se unen y dañan a las membranas de los parásitos constituyendo un mecanismo de defensa en contra de las etapas larvianas de la infestación por parásitos. También están involucrados en la modulación de reacciones inflamatorias alérgicas y de inmunocomplejos (Weiser, 2012b).

El tamaño, forma y número de gránulos de eosinófilos varía considerablemente entre especies (Harvey. 2012). El núcleo es segmentado asemejando al de los neutrófilos. La característica típica de los eosinófilos es que presentan gránulos citoplasmáticos con afinidad a la eosina, de color rojo a naranja prominentes. Los eosinófilos de los rumiantes tienen gránulos redondos uniformes y numerosos (figura 7) (Weiser, 2012b).



100x

Figura 7. Microfotografía de un eosinófilo (flecha) y un linfocito.

Los gránulos intactos también pueden ser extruidos de los eosinófilos. Estos gránulos extracelulares expresan receptores de citosinas en sus membranas y funcionan como organelas secretoras independientes que liberan constituyentes granulares en respuesta a las citosinas apropiadas (Harvey, 2012c).

Funcionan en la respuesta inmune a parásitos, alérgenos y otros procesos inflamatorios, produciendo gránulos proteicos que son citotóxicos a gran variedad de helmintos, protozoarios, hongos y bacterias (Jones y Allison, 2007).

Basófilos

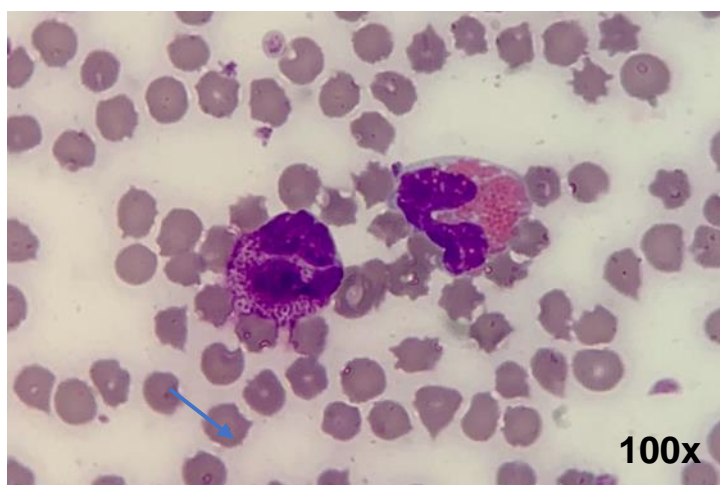
Su principal función es desconocida. Se ha estudiado que pueden participar en procesos alérgicos e inflamatorios liberando mediadores inflamatorios, incluyendo heparina e histamina, en reacciones inmediatas de hipersensibilidad. Su membrana citoplasmática está unida a las inmunoglobulinas E, como los mastocitos; sin embargo, su función

patofisiológica en la circulación no se conoce. No existe evidencia reportada convincente que los basófilos en sangre migren hacia los tejidos y se conviertan en mastocitos en tejido. Las concentraciones de basófilos en circulación son muy bajas y usualmente no se encuentran en los conteos diferenciales leucocitarios (Jones y Allison, 2007; Weiser, 2012b).

Los basófilos están presentes en pequeños números en rumiantes y a menudo no se encuentran en conteos diferenciales manuales. Asimismo, los basófilos pueden estar presentes en altos números en becerras clínicamente estables. Los basófilos son más grandes en diámetro que los neutrófilos. El núcleo es segmentado (como los otros granulocitos). La morfología de sus gránulos varía entre especies. Los basófilos de grandes especies están empaquetados con gránulos violeta oscuro que tan numerosos son que a menudo

porciones

(Figura 8)
2012b).



obscurecen
del núcleo
(Weiser,

Figura 8. Microfotografía de un basófilo (flecha) y un eosinófilo.

Trombopoyesis

Hace referencia a la producción de plaquetas, las cuales son pequeñas (2 – 4 μm), redondas a ovoides y no poseen núcleo, se encuentran dentro de los vasos sanguíneos. Las plaquetas tienen un papel central primario en la hemostasia, pero también participan en la hemostasia secundaria (coagulación) y vías inflamatorias (Boes y Durham, 2017e).

No se conoce bien si las plaquetas primitivas son producidas en el saco vitelino representando a una población de plaquetas distintas de aquellas producidas por el hígado fetal y últimamente la médula ósea porque los marcadores específicos no están disponibles (Boudreaux, 2010).

La trombopoyetina es el regulador principal de la trombopoyesis. Las células hepáticas y las células renales epiteliales tubulares constantemente producen trombopoyetina, la cual es luego despejada y destruida por las plaquetas y sus precursores. Por lo tanto, la concentración de trombopoyetina en el plasma es inversamente proporcional a la masa de plaquetas y precursores plaquetarios. Si la masa de plaquetas es disminuida, se despeja

menos trombopoyetina y existe subsecuentemente más plasma libre de eritropoyetina para estimular la trombopoyesis.

El precursor plaquetario más joven identificable al examen microscópico es el megacarioblasto, el cual se somete a reduplicaciones nucleares sin división celular (endomitosis), para formar un megacariocito con 8 a 64 núcleos. Los megacariocitos son células muy grandes, más grandes que cualquier célula hematopoyética. Los megacariocitos están alrededor de los sinusoides venosos, extienden sus procesos citoplasmáticos hacia los lúmenes vasculares y vierten fragmentos citoplasmáticos unidos a membrana (plaquetas) hacia la circulación sanguínea. La liberación ordenada de plaquetas es parcialmente facilitada por los microtúbulos $\beta 1$ dentro de los megacariocitos (Boes y Durham, 2017e).

Las plaquetas circulan en forma inactiva y se activan al unirse a agonistas plaquetarios, incluyendo la trombina, adenosín fosfato (ADP) y tromboxano. La activación de plaquetas causa el cambio de forma, liberación de gránulos y reubicación de fosfolípidos procoagulantes y glucoproteínas a la membrana celular externa (Boes y Durham, 2017e; Aspinall y Capello, 2020b).

Plaquetas

Como se mencionaba anteriormente, los trombocitos o plaquetas son fragmentos celulares formados en la médula ósea a partir de células grandes llamadas megacariocitos. Son pequeños discos sin núcleo y están presentes en la sangre en grandes cantidades. Las plaquetas están involucradas en la coagulación sanguínea funcionando para formar el tapón inicial hemostático en la vasculatura dañada y para mantener la integridad vascular (Figura 9) (Jones, y Allison, 2007; Aspinall y Capello, 2020b).

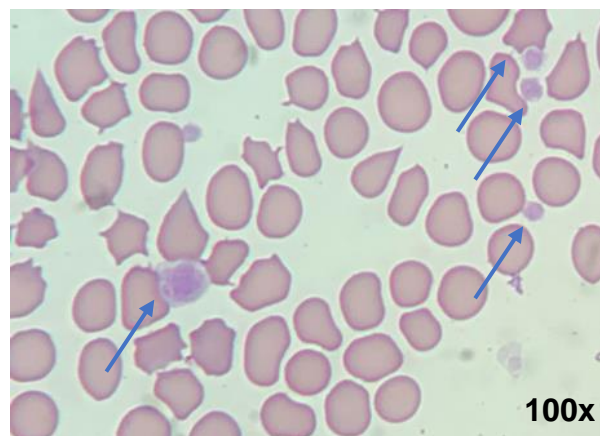


Figura 9. Microfotografía donde se observan grupos de plaquetas.

Se pueden realizar acertadamente los conteos en muestras sanguíneas dentro de las primeras 4 a 6 horas después de la colección. Es común observar el aglomeramiento de plaquetas en bovinos y esto es debido a que las muestras sanguíneas están expuestas por tiempo prolongado a

anticoagulantes como el EDTA o las sales de heparina. La presencia de muchas plaquetas gigantes sugiere una producción plaquetaria acelerada (Jones y Allison, 2007).

Más del 30 al 40% de las plaquetas son secuestradas en el bazo y entran a circulación sanguínea en respuesta de la liberación de epinefrina. Los trombocitos también son almacenados en el hígado y en la médula ósea. Las plaquetas de los bovinos sobreviven hasta 10 días en sangre periférica. En vasos sanguíneos intactos, las plaquetas circulan predominantemente en el grupo marginal. El número total de plaquetas es influenciado por la cantidad de producción, consumo, secuestro y pérdidas (Roland *et al.*, 2014).

Los números de plaquetas incrementan significativamente durante las primeras 2 semanas de edad y más lentamente después de los primeros 3 meses. Los conteos plaquetarios en becerros pueden entrar dentro o debajo de los rangos de referencia en adultos (Roland *et al.*, 2014).

Hemograma

El uso de la hematología y bioquímica sanguínea en la investigación diagnóstica del ganado requiere de una minuciosa examinación clínica y conocimiento detallado de la historia, alimentación y manejo de cada animal. Por sí solo, el hemograma es una herramienta útil para aportar información

valiosa en el diagnóstico, vigilancia y formulación de un pronóstico con respecto a la progresión de una enfermedad en un individuo. Además de servir como evidencia de apoyo a un diagnóstico presuntivo, puede indicar también el tipo de enfermedad y severidad, así como su seguimiento en caso de animales bajo terapia (Otter, 2013; Roland *et al.*, 2014).

En bovinos, la evaluación del conteo celular completo puede ser de gran ayuda al complementarlo con la examinación física, ya que puede sugerir ciertos procesos de enfermedad cuando al examen físico encontramos que los signos clínicos son vagos, ofreciendo un pronóstico en muchas ocasiones. Los bovinos al ser animales que conforme van creciendo aumentan su valor monetario, ha hecho que el conteo celular completo se haya convertido en una herramienta importante en el manejo de casos clínicos en rumiantes. La hematología en bovinos comúnmente se utiliza para indicar condiciones inflamatorias y cuando se sospecha de cuadros anémicos (Jones y Allison, 2007; Otter, 2013).

A menudo se piensa que los costos de la hematología o bioquímica sanguínea son excesivamente caros para el uso en la práctica de animales de producción. Sin embargo, si las pruebas son orientadas a la investigación de enfermedades específicas y se complementan con análisis de costo-beneficio específicos, entonces puede ser de gran ayuda en el diagnóstico de enfermedades clínicas y productivas (Macrae, 2017). El cuadro 1 muestra los

valores de referencia para el hemograma tomados de cuatro fuentes bibliográficas, siendo la última la utilizada como referencia en este proyecto de investigación.

Frotis sanguíneo / diferencial leucocitario

La evaluación del frotis sanguíneo es una parte integral del hemograma. Los análisis de los frotis sanguíneos permiten la cuantificación de los diferentes tipos de leucocitos (conteo diferencial), estimación de los conteos plaquetarios y la detección de anomalías morfológicas que puedan ser indicadores de procesos patofisiológicos. Es importante aclarar que el diferencial leucocitario proporciona resultados más exactos en comparación de los datos obtenidos con equipo automatizado. El estudio del diferencial leucocitario se utiliza para el diagnóstico, evaluación de salud general, seguimiento de una enfermedad o monitoreo de acciones terapéuticas (Roland *et al.*, 2014).

Una gota de sangre proveniente del mismo tubo donde se toma la muestra se barre en una laminilla y se deja secar a temperatura ambiente. Después es fijada, teñida y se deja secar nuevamente en el aire para ser examinada al microscopio (Blann y Ahmad, 2014; eClinpath, 2020b).

En algunas ocasiones, un diagnóstico podría ser evidente (morfología de las células, hallazgo incidental de hemoparásitos). Derivar un valor completo a

partir de la examinación de un frotis sanguíneo requiere un frotis bien hecho, bien teñido y algunas habilidades básicas en los métodos de evaluación (eClinpath, 2020b).

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El presente estudio se llevó a cabo en los corrales de recepción de la Ganadera J5 de Mexicali, S. A. de C. V. ubicado en el lote 32, Cerro Prieto III, C. P. 21397, Mexicali, Baja California.

Los hemogramas y frotis sanguíneos se realizaron en el Laboratorio de Patología Clínica del Hospital Veterinario de Pequeñas Especies (HVPE) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Los diferenciales

leucocitarios fueron realizados en el Laboratorio de Patología Anatómica de la UABC.

El periodo de muestreo comprendió del día 21 de febrero de 2019 al 31 de mayo de 2019. La evaluación completa de los diferenciales leucocitarios comprendió desde 04 de marzo al 25 de octubre del mismo año.

Criterios de inclusión

Se realizó un estudio epidemiológico observacional de tipo transversal, donde se tomó en cuenta a bovinos de engorda que ingresaron y fueron procesados en los corrales de recepción provenientes de diferentes estados del país, que fueron seleccionados de manera aleatoria para la recolección de muestras de sangre (Cuadro 2).

Recolección de muestras

Para la colección de las muestras sanguíneas, se tomó sangre venosa de la vena yugular externa alojada en el surco yugular, formada por los músculos cleidomastoideo y esternomandibular. Es una vena voluminosa, palpable y visible y se toma del tercio craneal o medio.

Las muestras se colectaron mediante el sistema de tubos evacuados utilizando agujas de seguridad para extracción de sangre venosa con agujas calibre 22 (BD Vacutainer, UK) y tubos impregnados con EDTA K2 de 4 mL de capacidad (BD Vacutainer, USA) obteniendo 3 mL de muestra por animal. La totalidad de las muestras fueron tomadas aleatoriamente por medio del uso de un programa generador de números aleatorios.

Brevemente, se inició rotulando el tubo con la respectiva identificación del animal, se desinfectó el área del surco yugular con alcohol al 70% y yodo povidona al 10%, se montó la aguja en el casquillo adaptador y se adaptó la aguja en la vena yugular externa en ángulo de 30° hasta que la sangre llenara casi por completo el tubo. Después de tomar la muestra de sangre, los tubos fueron identificados y colocados en gradillas dentro de una hielera con bolsas de gel refrigerante para su transporte al Laboratorio de Patología Clínica del HVPE-UABC, donde se realizaron los hemogramas y frotis sanguíneos.

El equipo utilizado para los hemogramas fue el Hemat 18 (Licon, Edo de México, MX) y se midieron las siguientes variables: eritrocitos (RBC), hemoglobina (HGB), hematocrito (HCT), volumen corpuscular medio (MCV), hemoglobina corpuscular media (MCH), concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC), amplitud de distribución eritrocitaria (RDW), plaquetas, leucocitos (LEU), linfocitos (LINF), neutrófilos (NEU), neutrófilos banda (NEU B), eosinófilos (EOS), basófilos (BAS) y monocitos (MONO).

Manejo de los animales al arribo

El manejo que se aplica al ganado durante la recepción consiste en el registro del peso, formación de lotes homogéneos y distribución en corrales limpios, con suficiente sombra, agua de bebida y forraje de alta calidad. A las 24 horas, se les ofrece alimento balanceado (ración) y paulatinamente se disminuye la cantidad de forraje conforme aumenta el consumo de ración para finalmente ofrecerles alimentación a base de ración, exclusivamente. Adicionalmente, en el agua de bebida se administró sulfamonometoxina como agente antimicrobiano.

El manejo zootécnico de recepción de ganado se realiza de las 24 a 72 horas de su arribo a la explotación. Esto depende de la distancia desde la cual fueron transportados y del estado físico aparente del ganado. Al ingresar a las trampas de manejo, los animales son identificados con un arete interno y un arete de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) para señalar el proveedor, número de viaje y número individual de cada animal. Además, se hace registro del número de arete metálico o del arete que corresponde al Sistema Nacional de Identificación Individual de Ganado (SINIIGA) junto con el arete interno para obtener una base de datos.

Las vacunas administradas fueron Bovi-Shield Gold[®] 5 (Zoetis, EE. UU.) o Bovimune Protector[®] 5 (Lapisa, MX). Las bacterinas administradas fueron Ultrabac[®] 7/ Somubac[®] (Zoetis, EE. UU.) o Bovimune[®] Clostri-10 (Lapisa, MX), One Shot Ultra[®] 7 (Zoetis, EE. UU.) o Bovimune[®] Single Shot (Lapisa, MX).

Base de datos

Se diseñó una base de datos en Excel (Microsoft Corp, Seattle, WA) con el fin de registrar y manejar toda la información relacionada a los animales incluidos en el estudio.

Análisis estadístico

Se utilizó la estadística descriptiva con el fin de determinar la media, desviación estándar, valores mínimos y máximos de las variables hematológicas y diferenciales leucocitarias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Población muestreada

De un total de 13 viajes (1210 animales), que se recibieron en los corrales de recepción del 21 de febrero al 31 de mayo del 2019, se obtuvieron muestras de sangre aleatoriamente de 240 animales provenientes de los

estados de Chihuahua (155), Jalisco (53) y Sonora (32). En cuanto a raza, se identificaron Holstein (139) y cruza (101), en base a edad, se identificaron becerros (144), novillos (64) y hembras (32) (Cuadro 2).

Se realizaron 240 hemogramas y sus respectivos diferenciales leucocitarios y se generaron los indicadores estadísticos descriptivos de media, desviación estándar, valor mínimo y valor máximo (Cuadro 3).

Interpretación

El 90% (216/240) de los animales presentaron eritrocitosis, la cual se refiere al incremento de células rojas sanguíneas (eritrocitos, hematocrito y/o hemoglobina) (Cuadro 4). Es un hallazgo frecuente en el conteo celular completo, siendo la más común la eritrocitosis relativa causada por deshidratación (Roland *et al.*, 2014).

Cabe mencionar que los animales habían pasado ya por un descanso de 24-48 horas dependiendo la procedencia y aun así sus valores se mantuvieron altos, lo que sugiere que esos animales no se habían recuperado totalmente en ese periodo de tiempo, lo cual también puede repercutir en el tiempo establecido para permanecer en los corrales de recepción. Esto puede ser debido a que gran parte de los animales a los cuales se les tomó muestra son animales jóvenes, que son transportados grandes distancias donde

muchas veces no reciben el descanso y la hidratación necesaria (Meléndez *et al.*, 2020).

La RDW (amplitud de distribución eritrocitaria) se mostró incrementada con un 76.6% (184/240) del total de la población. La RDW es el coeficiente de variación de la distribución del volumen de los eritrocitos y es una medida de anisocitosis. La presencia de macrocitosis o microcitosis resulta en picos anormales y una distribución más amplia. En animales sanos, el volumen corpuscular medio (VCM) está disminuido, resultando en un RDW más amplio. Se puede asociar también en condiciones como deficiencia de hierro u otras deficiencias de minerales asociadas con anemias macrocíticas o microcíticas.

Otro hallazgo fue que el 65.4% (157/240) de los animales presentaron trombocitosis (aumento en el número de plaquetas) y usualmente no es común, puede ser secundaria (trombocitosis reactiva) y ocurre con el ejercicio, el estrés o condiciones inflamatorias. También se ha descrito que puede ser debido a hemorragias. En rumiantes, una elevación falsa del conteo plaquetario puede ocurrir por el conteo de eritrocitos muy pequeños analizándose como plaquetas de algunos analizadores automatizados (Otter, 2013).

También se observó incremento en el número de linfocitos (linfocitosis) obteniendo un 58.3% (140/240) de animales con linfocitosis. La linfocitosis patológica no es tan común en rumiantes, pero puede estar asociada a las

etapas de recuperación de una enfermedad inflamatoria o infecciosa incluyendo enfermedades bacterianas, virales y parasitarias. También en casos de infecciones virales o condiciones piógenas crónicas, aunque se han reportado enfermedades autoinmunes. Se sabe que bovinos infectados con el virus de la leucemia viral bovina (BLV) exhiben incremento persistente de linfocitos B de carácter benigno, que en ocasiones puede mostrar malignidad linfocítica (Jones y Allison, 2007; Otter, 2013).

De igual forma, los conteos diferenciales leucocitarios siempre tienen reportarse como conteos totales y no en porcentajes. En rumiantes, los conteos de linfocitos tienden a ser mayores que los de los neutrófilos, sobre todo en animales jóvenes donde este grupo de células comprenden cerca de dos tercios del total de leucocitos circulantes. (Macrae, 2017).

Se observó en algunos animales la presencia de neutrófilos banda aportando el 8.3% (20/240) en el diferencial leucocitario, indicando que hay una estimulación en su producción la cual es severa y continua debido aun proceso inflamatorio. Como se mencionaba anteriormente, en condiciones normales no se observan neutrófilos banda en circulación. Cuando se elevan los neutrófilos banda se le denomina desviación a la izquierda y cuando existe un incremento en los números de neutrófilos maduros, desviación a la izquierda regenerativa la cual ocurre cuando el estímulo es de carácter crónico (Otter, 2013).

Actualmente, la información para México donde se utilice el hemograma como una herramienta rutinaria de apoyo en bovinos de engorda es sumamente escasa. Los estudios disponibles en su mayoría han sido reportados en bovinos lecheros, donde la duración de las condiciones de explotación zootécnica suele ser más extenso.

En el área de nutrición, un estudio realizado por Martínez *et al.*, (2016) utilizaron la hematología para medir parámetros productivos en vacas a las cuales suplementaron con melaza y pasta de coco, encontrando que este tipo de suplementación no afectaba en la producción de leche ni en los parámetros hematológicos en vacas de doble propósito. En este caso, el hemograma fue utilizado para parámetros productivos, pero por su gran alcance, no solamente podemos evaluar una dieta sino el estado general de salud de un animal como se presenta en este documento.

Fontenot (2015) trató de elucidar si una o más variables hematológicas a la llegada pudieran predecir si las becerras tenían mayor riesgo de padecer el Complejo Respiratorio Bovino (CRB) comparado con cohortes que eran más probables de permanecer saludables, apoyándose de pruebas de biología molecular. El estudio se realizó en Hereford, Texas donde encontró que animales con hemoglobina (CI 0.40-0.95) o eritrocitos (CI 0.43-0.95) disminuidos tenían menor riesgo de ser tratados al menos una vez por CRB. Asimismo, encontraron que la disminución del porcentaje de linfocitos en

sangre periférica estaba asociada con una disminución del riesgo de mortalidad ($OR < 0.2$; $P < 0.01$) y donde los rangos de eosinófilos pudieran ser factor clave para la toma de decisiones a la llegada de los animales.

Nosotros en cambio encontramos que los conteos de eosinófilos estaban dentro de los valores de referencia (media de $0.12 \cdot 10^9/L$), sin embargo, los conteos de linfocitos se mostraron incrementados con una media de $7.93 \cdot 10^9/L$. En base al proyecto de investigación que realizó Fontenot, podría sugerir que la gran mayoría de los animales que presentaron linfocitosis (58.3%) pudieran correr riesgo en padecer de enfermedad respiratoria.

Un estudio realizado por Vicente *et al.*, (2018) quienes evaluaron el efecto de la época (verano e invierno) sobre las variables hematológicas en vaquillas Holstein de reemplazo en el Valle de Mexicali, observaron mayor concentración de linfocitos ($10.9 \cdot 10^9/L$), granulocitos ($3.74 \cdot 10^9/L$), hematocrito (34.2%), hemoglobina (119 g/L), volumen corpuscular medio (41.6 pg) y concentración de hemoglobina corpuscular media (345 g/L) en la época de invierno pero menor concentración de hemoglobina en comparación con la época de verano (336 g/L), atribuyéndolo a que los cambios de temperatura ambiental ejercen modificaciones importantes en el comportamiento del animal, sobre todo bajo estrés calórico.

En nuestro proyecto, las muestras fueron obtenidas al inicio de la primavera y al inicio del verano donde prácticamente las temperaturas se mantienen constantes. La media de la concentración de hemoglobina corpuscular media (MCHC) obtenida fue de 356.6 g/L la cual también se encuentra por debajo del valor de referencia (360-390 g/L). Esto podría sugerir que en temperaturas constantes cálidas los valores de MCHC podrían permanecer en el rango inferior.

Otro estudio utilizó la hematología en bovinos para describir las condiciones patológicas ocasionadas por el consumo de una planta tóxica llamada huinar (*Melochia pyramidata*) en Colima, México. Donde se determinó que los animales intoxicados presentaban leucocitosis por neutrofilia y anemia normocítica normocrómica (Ruiz-Ramírez *et al.*, 2018). Este tipo de estudio muestra una gran utilidad del uso del hemograma en problemas orientados a un padecimiento en específico y, por lo tanto, sienta las bases que podrían guiar a los médicos veterinarios a realizar un plan de acción y tratamiento.

Recientemente en Aguascalientes, se realizó un estudio donde encontraron variaciones hematológicas significativas en vacas lecheras durante su periodo de transición, evidenciando que al momento del parto se puede observar linfocitosis ($12.5 \times 10^9/L$) y se observa la alteración de la función sanguínea siendo el punto crítico después del parto. Se observan valores

disminuidos de células blancas lo cual hacen susceptible a la vaca de enfermarse con cualquier agente infeccioso (Pérez, 2020).

En comparación al trabajo anterior, aunque el fin productivo sea distinto, es importante aclarar que cualquier evento que ocasione un proceso de estrés fisiológico puede resultar en cambios inducidos por la secreción de las hormonas pituitarias. Por lo tanto, conlleva a la alteración del metabolismo, a una competencia inmune y cambios en la calidad de la carne (Damtew *et al.*, 2018).

La mayoría de los bovinos de engorda que son introducidos a Baja California provienen del centro sur del país, esto significa que recorren grandes distancias en camiones lo cual llega a ocasionar estrés fisiológico. Engen y Coetzee (2018) realizaron una revisión de literatura de los efectos que tiene el transporte en la salud y producción de bovinos de engorda, donde las respuestas fisiológicas son influenciadas por efectos multifacéticos que finamente comienzan con deshidratación, privación del alimento, daño al tejido e inhalación de humos de diésel. La literatura indicó que la función inmune, el incremento de las proteínas de fase aguda (PFA), los glucocorticoides y la inflamación post-transporte son un punto de partida fundamental para comprender el proceso de enfermedad.

En base a los hallazgos encontrados, es probable que el nivel de hidratación y bienestar animal se vea comprometido por el transporte. Por ende, en los sistemas de producción de bovinos de engorda, se necesitan crear programas que aseguren la calidad del transporte de ganado que incorporen datos de investigación sólidos, el desarrollo de guías para el manejo de animales, educación a los empleados que se encargan del transporte y la implementación de una base de datos en línea específicamente para individuos que transporten el ganado (Schwartzkopf-Genswein et al., 2016).

CONCLUSIONES

Como una medida de implementación de rutina, se puede emplear el uso del hemograma como herramienta auxiliar en la prevención y seguimiento de enfermedades o condiciones que puedan afectar al bovino de engorda durante su recepción y finalización o bien, para tener evidencia de apoyo al momento de sospechar de cualquier padecimiento.

El 90% (216/240) de los bovinos recibidos en los corrales de recepción presentaron eritrocitosis relativa por hemoconcentración (deshidratación). El 76.6% (184/240) presentaron incremento en la amplitud de distribución eritrocitaria (RDW) indicando que la mayoría de los animales presenta variación en el tamaño de los eritrocitos, sugerente a deficiencias de minerales. El 65.4% (157/240) de los bovinos presentaron trombocitosis sugerente a procesos fisiológicos como el ejercicio, el estrés o condiciones inflamatorias.

En la línea blanca, el 58.3% (140/240) de los bovinos presentaron linfocitosis, hallazgo asociado a las etapas de recuperación de una enfermedad inflamatoria o infecciosa (infecciones virales, bacterianas y parasitarias o condiciones piógenas crónicas). En el 8.3% (20/240) de los bovinos, se encontró la presencia de neutrófilos banda (NEU B), cuando normalmente no se observan en circulación, indicando que hay un estímulo en su producción el cual puede ser una condición infecciosa y/o inflamatoria.

En base al origen de los animales encontramos que el 12.08% de los animales provenientes de Sonora presentaron eritrocitosis; el 58.7% de Chihuahua y el 19.1% de Jalisco.

El ganado introducido a Baja California proviene del centro sur del país, siendo transportado en camiones grandes distancias, lo cual desencadena una serie de procesos fisiológicos negativos los cuales hacen susceptible al animal de padecer enfermedades que perjudican directamente la salud y, por ende, la calidad de la carne.

Es importante mencionar que transporte sigue siendo un tema muy delicado al cual se le debe de dar la debida atención, por lo cual se han desarrollado guías para el manejo de los animales y educación continua a los empleados que transportan a los bovinos.

Con la ayuda del hemograma pudimos diagnosticar el estado general de salud de los bovinos dándonos un panorama general de la condición en la que son recibidos en el Valle de Mexicali. El hemograma resultó ser una herramienta, rápida, confiable y de bajo costo. El presente estudio aportó valores de las variables hematológicas que anteriormente no habían sido reportadas en bovinos de engorda en la literatura en la región del Noroeste de México.

Cuadro 1. Valores de referencia para el hemograma de cuatro fuentes bibliográficas.

Variables	Unidades (SI)¹	Iowa State U²	MSD Vet Manual³	Cornell University⁴	Veterinary Medicine⁵
Eritrocitos	10 ¹² /L	5.0 – 10.0	5.0 – 10.0	5.0 – 7.2	5.1 – 7.6
HGB	g/L	80 – 150	80 – 150	87 – 124	85 – 122
HCT	L/L	0.24 – 0.46	0.24 – 0.46	0.25 – 0.33	0.22 – 0.33
MCV	fL	40 – 60	40 – 60	38 – 51	38 – 50
MCH	pg	11 – 17	11 – 17	14 – 19	14 – 18
MCHC	g/L	300 – 600	300 – 360	340 – 380	360 – 390
RDW	%	-	-	15.0 – 19.4	15.5 – 19.7
Plaquetas	10 ⁹ /L	300 – 800	100 – 800	252 – 724	200 – 650
LEU	10 ⁹ /L	4.0 – 12.0	4.0 – 12.0	5.9 – 14.0	4.9 – 12.0
LINF	10 ⁹ /L	2.5 – 7.5	2.5 – 7.5	1.7 – 7.5	1.6 – 5.6
NEU	10 ⁹ /L	0.6 – 4.0	0.6 – 4.0	1.8 – 7.2	1.8 – 6.3
NEU B	10 ⁹ /L	0.0 – 0.12	0.0 – 0.10	0.0	0.0
EOS	10 ⁹ /L	0.0 – 2.4	0.0 – 2.4	0.0 – 1.3	0.0 – 0.9
BAS	10 ⁹ /L	0.0 – 0.2	0.0 – 0.2	0.0 – 0.3	-
MONO	10 ⁹ /L	0.03 – 0.85	0.0 – 0.9	0.0 – 0.9	0.0 – 0.8

1. Sistema Internacional; 2. Iowa State University, 2011; 3. Merck Veterinary Manual, 2011; 4. Cornell University, 2016; 5. Veterinary Medicine, 2017.

HGB; hemoglobina; HCT: hematocrito; MCV: volumen corpuscular medio; MCH: hemoglobina corpuscular media; MCHC: concentración de hemoglobina corpuscular media; RDW: amplitud de distribución eritrocitaria; LEU: leucocitos; LINF: linfocitos; NEU: neutrófilos; NEU B: neutrófilos banda; EOS: eosinófilos; BAS: basófilos y MONO: monocitos.

Cuadro 2. Organización de los viajes procesados para el proyecto (21 de febrero al 31 de mayo 2019).

Origen	Total	Raza	Tipo	Muestras
Jalisco	78	Cruza	Becerro	21
Jalisco	86	Cruza	Becerro	16
Chihuahua	119	Pintos	Becerro	10
Jalisco	98	Cruza	Becerras	16
Chihuahua	107	Cruza	Becerro	16
Chihuahua	112	Pintos	Becerro	16
Chihuahua	73	Pintos	Becerro	16
Chihuahua	66	Pintos	Novillos	16
Chihuahua	72	Pintos	Novillos	15
Chihuahua	109	Pintos	Becerro	17
Chihuahua	63	Pintos	Becerro	16
Chihuahua	107	Pintos	Novillos	33
Sonora	120	Cruza	Hembras	32
TOTAL				240

Cuadro 3. Resultados de hemogramas y diferenciales leucocitarios.

Variables	Unidades (SI)¹	Media	DS²	Valor mínimo	Valor máximo	Referencias^{3,4}
Eritrocitos	10 ¹² /L ↑	8.97	1.11	4.94	12.48	5.1 – 7.6
HGB	g/L	118.3	13.30	63	163	85 – 122
HCT	L/L	0.33	0.032	0.206	0.439	0.22 – 0.33
MCV	fL	37.2	3.06	28.8	49.8	38 – 50
MCH	pg	13.3	1.20	10.7	19.8	14 – 18
MCHC	g/L ↓	356.6	16.31	303	399	360 – 390
RDW	% ↑	20.7	1.39	17.6	29.5	15.5 – 19.7
Plaquetas	10 ⁹ /L ↑	787.7	284.7	193	1621	200 – 650
LEU	10 ⁹ /L	11.68	7.69	1.44	47.16	4.9 – 12.0
LINF	10 ⁹ /L ↑	7.93	5.62	1.05	41.25	1.6 – 5.6
NEU	10 ⁹ /L	3.31	4.28	0.09	42.78	1.8 – 6.3
NEU B	10 ⁹ /L ↑	0.01	0.053	0	0.55	0.0
EOS	10 ⁹ /L	0.12	0.253	0	1.84	0.0 – 0.9
BAS	10 ⁹ /L	0.06	0.095	0	0.48	0.0 – 0.3*
MONO	10 ⁹ /L	0.66	0.807	0	6.87	0.0 – 0.8

1. Sistema Internacional; 2. Desviación estándar; 3. Veterinary Medicine, 2017; 4. Cornell University, 2016. HGB; hemoglobina; HCT: hematocrito; MCV: volumen corpuscular medio; MCH: hemoglobina corpuscular media; MCHC: concentración de hemoglobina corpuscular media; RDW: amplitud de distribución eritrocitaria; LEU: leucocitos; LINF: linfocitos; NEU: neutrófilos; NEU B: neutrófilos banda; EOS: eosinófilos; BAS: basófilos y MONO: monocitos. Las flechas indican incremento o disminución en base al valor de referencia, mismos datos que son discutidos.

Cuadro 4. Frecuencias de animales con y sin eritrocitosis, con su respectiva procedencia.

Origen	Deshidratado	No deshidratado	N*	% con deshidratación
Sonora	29	3	32	12.08%
Chihuahua	141	14	155	58.7%
Jalisco	46	7	53	19.1%

**Número total de animales.*

LITERATURA CITADA

- Allflex, 2020. Livestock monitoring Intelligent monitoring solutions for timely reproduction, health and nutrition insights. Available at: <https://www.allflex.global/livestock-monitoring/>. Accessed Nov 20, 2020.
- Aspinall V. y M. Cappello. 2020. Blood vascular system. In: Introduction to Animal Veterinary Anatomy and Physiology (4th Ed.) Pp. 79-80. CABI, Oxfordshire, UK.
- Aspinall V. y M. Cappello. 2020b. Blood vascular system, Leukocytes, Thrombocytes. In: Introduction to Animal Veterinary Anatomy and Physiology (4th Ed.) Pp. 82. CABI, Oxfordshire, UK.
- Blann, A. y N. Ahmed, 2014. Introduction to Blood Science, Haematology. In: Blood Science, Principles and Pathology (1st Ed.) Pp. 14. John Wiley & Sons, Ltd, Oxford, UK.
- Boes, K. M. y A. C. Durham. 2017. Bone Marrow, Blood Cells, and the Lymphoid/Lymphatic System, Hematopoiesis. In: Zachary, J. F. Pathologic Basis of Veterinary Disease (6th Ed.) Pp. 725. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Boes, K. M. y A. C. Durham. 2017b. Bone Marrow, Blood Cells, and the Lymphoid/Lymphatic System, Erythropoiesis. In: Zachary, J. F. Pathologic Basis of Veterinary Disease (6th Ed.) Pp. 726-729. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Boes, K. M. y A. C. Durham. 2017c. Bone Marrow, Blood Cells, and the Lymphoid/Lymphatic System, Lymphopoiesis, Thrombopoiesis. In: Zachary, J. F. Pathologic Basis of Veterinary Disease (6th Ed.) Pp. 729-730. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Boes, K. M. y A. C. Durham. 2017d. Bone Marrow, Blood Cells, and the Lymphoid/Lymphatic System, Granulopoiesis and Monocytopoiesis (Myelopoiesis). In: Zachary, J. F. Pathologic Basis of Veterinary Disease (6th Ed.) Pp. 729. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Boes, K. M. y A. C. Durham. 2017e. Bone Marrow, Blood Cells, and the Lymphoid/Lymphatic System, Thrombopoiesis. In: Zachary, J. F. Pathologic Basis of Veterinary Disease (6th Ed.) Pp. 730. Elsevier Inc, St. Louis, MO.

- Boudreaux, M. K. 2010. Thrombopoiesis. In: Weiss, D. J. y K. J. Wardrop (6th Ed.) Schalm's Veterinary Hematology. Pp. 56-57. Wiley Blackwell, Ames IA.
- Car, B. D. 2010. The Hematopoietic System. In: Weiss, D. J. y K. J. Wardrop (6th Ed.) Schalm's Veterinary Hematology. Pp. 27. Wiley Blackwell, Ames IA.
- Constable P. D., K. W. Hinchcliff, S. H. Done y W. Grünberg, 2017. Appendix 2 Reference Laboratory Values. In: Veterinary Medicine, a textbook of Diseases of Cattle, Horses, Sheep, Pigs, and Goats. (11th Ed.) Pp. 2217.
- Damtew, A., Y. Erega, H. Ebrahim, S. Tsegaye y D. Msigie, 2018. The effect of long-distance transportation stress on cattle: a review. Biomed. J. Sci & Tech Res. 3: 1-5.
- eClinpath, 2020. Erythropoiesis. Available at: <https://eclinpath.com/cytology/bone-marrow/erythropoiesis/>. Accessed Nov 3, 2020.
- eClinpath, 2020b. Smear examination. Available at: <https://eclinpath.com/hematology/hemogram-basics/blood-smear-examination/>. Accessed Nov 3, 2020.
- Fontenot, L. R. 2015. Hematological variables as predictors of bovine respiratory disease in newly received cattle fed in confinement. West Texas A&M University, Canyon, TX. Pp. 1-70.
- Harvey, J. W. 2012. Hematology procedures, composition of blood. In: Veterinary Hematology, A Diagnostic Guide and Color Atlas (1st Ed.) Pp. 11-12. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Harvey, J. W. 2012b. Hematopoiesis. In: Veterinary Hematology, A Diagnostic Guide and Color Atlas (1st Ed.) Pp. 34. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Harvey, J. W. 2012c. Eosinophils. In: Veterinary Hematology, A Diagnostic Guide and Color Atlas (1st Ed.) Pp. 148-150. Elsevier Inc, St. Louis, MO.
- Macrae, A. 2017. Interpreting blood haematology/ biochemistry in cattle and sheep in the field. Livestock. 22: 28-32.
- Martínez, G., R. González y A. Cruz, 2016. Parámetros productivos y hematológicos de vacas suplementadas con una mezcla de melaza y pasta de coco. In: Lee, A., H. Ramírez y J. Roque. Perspectivas y Avances de la Producción Animal en México (1st Ed.) Pp. 22- 27. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, MX.

- Meléndez, D. M., S. Marti, D. B. Haley, T. D. Schwinghamer y K. S. Genswein, 2020. Effect of transport and rest stop duration on the welfare of conditioned cattle transported by road. *PLoS One*, 3: 2-15.
- Otter, A. 2013. Diagnostic blood biochemistry and haematology in cattle. *In Practice*, 35: 7-16.
- Pérez, L. F. 2020. Caracterización de los componentes hematológicos de la vaca lechera en su periodo de transición, en el altiplano mexicano. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Centro de Ciencias Agropecuarias. Pp. 1-81.
- Rodríguez, J. L., G. López, F. J. Monge, G. E. Medina, S. Hori, S. A. Cueto, A. de la Mora, L. M. Muñoz, L. Tinoco y T. B. Rentería. 2017. Detection and economic impact related to bovine respiratory disease, shrink, and traveling distance in feedlot cattle in Northwest Mexico. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.* 41: 294-301.
- Roland, L., M. Drillich y M. Iwersen, 2014. Hematology as a diagnostic tool in bovine medicine. *J. Vet. Diagn. Invest.* 26: 592–598.
- Ruíz-Ramírez, J., J. García-Valle, C. Montoya-Ménez, J. Hernández-Rivera, R. Ramírez-Romero, L. García-Márquez. 2018. Bovinos intoxicados por *Melochia pyramidata* en Colima, México. *Abanico Veterinario*, 8: 130-137.
- SADER. 2020. Generaron productos pecuarios derrama de \$8,320 mdp en BC, durante el 2019. Available at: <https://www.gob.mx/agricultura/bajacalifornia/articulos/generaron-productos-pecuarios-derrama-de-8-320-mdp-en-bc-durante-el-2019?idiom=es>. Accessed Oct. 7, 2020.
- SADER. 2019. Destaca la producción de carne de bovino en el sector pecuario de Baja California. Available at: <https://www.gob.mx/agricultura%7Cbajacalifornia/articulos/destaca-la-produccion-de-carne-de-bovino-en-el-sector-pecuario-de-baja-california>. Accessed Oct 7, 2020.
- Schwartzkopf-Genswein, K., J. Ahola, L. E. Callaway, D. Hale y J. Paterson, 2016. Symposium Paper: Transportation issues affecting cattle well-being and considerations for the future. *The Professional Animal Scientist*, 32: 707-716.
- SIAP. 2020. Avance mensual de la producción pecuaria año 2020, Baja California. Available at:

http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecAvanceEdo.jsp.

Accessed Oct. 5, 2020.

SIAP. 2019. Bovino para carne población ganadera 2010 – 2019. Available at: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/564341/Inventario_2019_bovino_para_carne.pdf. Accessed Oct. 5, 2020.

Thrall, M. A. 2012. Hematology of Common Domestic Species, Erythrocyte Morphology. In: Thrall, M. A., G. Weiser, R. W. Allison y T. W. Campbell (2nd Ed.) Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. Pp. 34. Wiley Blackwell, Ames, IA.

Van Engen, N. K. y J. F. Coetzee, 2018. Effects of transportation on cattle health and production: a review. Anim. Health. Res. Rev. 1-13.

Vicente, P. A., C. R. Barajas, C. U. Macías, Q. J. Aguilar, C. A. Correa, N. E. Corrales, L. J. Guerra y R. L. Avendaño, 2018. Efecto de la época del año (verano vs. invierno) en variables hematológicas y metabólicas en vaquillas Holstein en una zona árida. XXVIII Reunión Internacional sobre Producción de Carne y Leche en Climas Cálidos, Mexicali, B.C. Universidad de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Pp. 48-51.

Weiser, G. 2012. General principles of laboratory testing and diagnosis, sample collection, processing, and analysis of laboratory service options. In: Thrall, M. A., G. Weiser, R. W. Allison y T. W. Campbell (2nd Ed.) Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. Pp. 34. Wiley Blackwell, Ames, IA.

Weiser, G. 2012b. Introduction to Leukocytes and the Leukogram, Common blood leukocytes: General functions and morphology, Neutrophils, Lymphocytes, Monocytes, Eosinophils, Basophils. In: Thrall, M. A., G. Weiser, R. W. Allison y T. W. Campbell (2nd Ed.) Veterinary Hematology and Clinical Chemistry. Pp. 118-121. Wiley Blackwell, Ames, IA.